



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenl gungsschrift**
10 **DE 101 31 780 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
G 01 B 9/02

21 Aktenzeichen: 101 31 780.8
22 Anmeldetag: 3. 7. 2001
43 Offenlegungstag: 7. 3. 2002

DE 101 31 780 A 1

65 Innere Priorität:
100 33 027. 4 07. 07. 2000

71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

74 Vertreter:
Jeck . Fleck . Herrmann Patentanwälte, 71665
Vaihingen

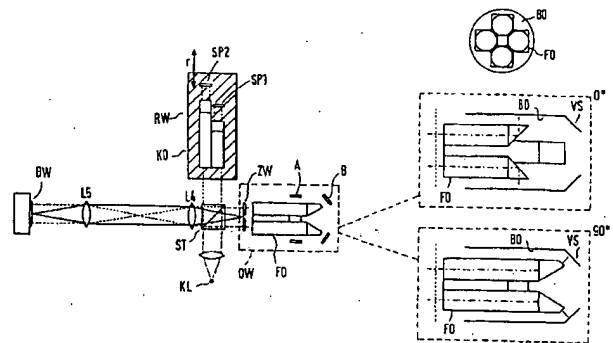
72 Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Interferometrische Messvorrichtung

57 Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zur Formvermessung einer Fläche (A) eines Objektes (BO) mit einer eine kurzkohärente Strahlung abgebenden Strahlungsquelle (KL), einem Strahlleiter (ST) zum Bilden eines über einen Objektlichtweg (OW) zu dem Objekt (BO) geleiteten Objektstrahls und eines über einen Referenzlichtweg (RW) zu einer reflektierenden Referenzebene (TS, SP1) geleiteten Referenzstrahls und mit einem Bildwandler (BW), der die von der Fläche (A) und der Referenzebene (TS, SP1) zurückgeworfene und zur Interferenz gebrachte Strahlung aufnimmt und einer Auswerteinrichtung zum Bestimmen eines die Fläche (A) betreffenden Messergebnisses zuführt, wobei zum Auswerten des Interferenzmaximums durch Abtastung die optische Länge des Objektlichtweges (OW) relativ zu der optischen Länge des Referenzlichtweges (RW) geändert wird oder eine Abtastung eines in dem Objektlichtweg (OW) erzeugten Zwischenbildes (ZA) der Fläche (A) erfolgt. Eine schnelle, genaue Messung an räumlich getrennten Oberflächen wird dadurch erreicht, dass in dem Objektlichtweg (OW) eine Superpositionsoptik (FO; L1, L2; LB) angeordnet ist, mit der gleichzeitig außer von der Fläche (A) von mindestens einer weiteren Fläche (B) ein Bild erzeugbar ist, dass in dem Referenzlichtweg (RW) entsprechend der Anzahl der weiteren Fläche(n) (B) zum Erzeugen unterschiedlicher optischer Längen in dem Referenzlichtweg (RW) mindestens eine weitere Referenzebene (SP, SP2) angeordnet ist ...



DE 101 31 780 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Messvorrichtung zur Formvermessung einer Fläche eines Objektes mit einer kurzkohärenten Strahlung abgebenden Strahlungsquelle, einem Strahlteiler zum Bilden eines über einen Objektlichtweg zu dem Objekt geleiteten Objektstrahls und eines über einen Referenzlichtweg zu einer reflektierenden Referenzebene geleiteten Referenzstrahls und mit einem Bildwandler, der die von der Fläche und der Referenzebene zurück geworfene und zur Interferenz gebrachte Strahlung aufnimmt und einer Auswerteeinrichtung zum Bestimmen eines die Fläche betreffenden Messergebnisses zuführt, wobei zum Messen die optische Länge des Objektlichtweges relativ zu der optischen Länge des Referenzlichtweges geändert wird oder eine Abtastung eines in dem Objektlichtweg erzeugten Zwischenbildes der Fläche erfolgt.

Stand der Technik

[0002] Eine interferometrische Messvorrichtung dieser Art ist in der DE 41 08 944 A1 angegeben (wobei die vorliegend alternativ noch angegebene Zwischenbildabtastung jedoch nicht genannt ist). Bei dieser bekannten interferometrischen Messvorrichtung, die auf dem Messprinzip der sogenannten Weisslichtinterferometrie oder Kurzkohärenzinterferometrie beruht, gibt eine Strahlungsquelle kurzkohärente Strahlung ab, die über einen Strahlteiler in einen ein Messobjekt beleuchtenden Objektstrahl und einen eine reflektierende Referenzebene in Form eines Referenzspiegels beleuchtenden Referenzstrahl aufgeteilt wird. Um die Objektoberfläche in Tiefenrichtung abzutasten, wird der Referenzspiegel mittels eines Piezostellelementes in Richtung der optischen Achse des Referenzlichtweges verfahren. Wenn der Objektlichtweg und der Referenzlichtweg übereinstimmen, ergibt sich im Bereich der Kohärenzlänge ein Maximum des Interferenzkontrastes, der mittels eines photoelektrischen Bildwandlers und einer nachgeschalteten Auswerteeinrichtung erkannt und zur Bestimmung der Kontur der Objektoberfläche auf der Grundlage der bekannten Auslenkposition des Referenzspiegels ausgewertet wird.

[0003] Weitere derartige interferometrische Messvorrichtungen bzw. interferometrische Messverfahren auf der Basis der Weisslichtinterferometrie sind in P. de Groot, L. Deck, "Surface profiling by analysis of white-light interferograms in the spatial frequency domain" J. Mod. Opt., Vol. 42, No. 2, 389-401, 1995 und Th. Dresel, G. Häusler, H. Venzke; "Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar", Appl. Opt., Vol. 31, No. 7, 919-925, 1992 angegeben.

[0004] In der (nicht vorveröffentlichten) deutschen Patentanmeldung 199 48 813 ist ebenfalls eine derartige interferometrische Messvorrichtung auf der Basis der Weisslichtinterferometrie gezeigt, wobei insbesondere zur Messung in engen Hohlräumen die laterale Auflösung vergrößert wird, indem im Objektlichtweg ein Zwischenbild erzeugt wird. In der ebenfalls nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 100 15 878.1 ist vorgeschlagen, zur Vergrößerung der Schärfentiefe bei gleichzeitig relativ großer lateraler Auflösung eine Zwischenbildabtastung durchzuführen.

[0005] Bei den bekannten interferometrischen Messvorrichtungen bzw. Messverfahren bestehen Schwierigkeiten, wenn die Messaufgabe die Abtastung mehrerer voneinander getrennter Flächen erfordert, die z. B. mehrere Millimeter beabstandet und/oder schräg zueinander orientiert sind.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine in-

terferometrische Messvorrichtung der eingangs genannten Art bereit zu stellen, mit der mindestens zwei voneinander räumlich getrennte Flächen mit möglichst geringem Aufwand mit genauen, gut reproduzierbaren Messergebnissen vermessen werden können.

Vorteile der Erfindung

[0007] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, dass außer von der Fläche von mindestens einer weiteren Fläche ein Bild erzeugbar ist, dass in dem Referenzlichtweg entsprechend der Anzahl der weiteren Fläche(n) zum Erzeugen unterschiedlicher optischer Längen in dem Referenzlichtweg mindestens eine weitere Referenzebene angeordnet ist, die dem Tiefenscandient/dienen, und dass die von der mindestens einen weiteren Fläche und der zugeordneten weiteren Referenzebene zurückgeworfene und ebenfalls zur Interferenz gebrachte und für die Messung abgetastete Strahlung ebenfalls dem Bildwandler zugeführt und in der Auswerteeinrichtung zum Bestimmen des Messergebnisses ausgewertet wird.

[0008] Beispielsweise mit einer Superpositionsoptik oder Optik mit entsprechender Schärfentiefe werden gleichzeitig mehrere getrennte Flächen desselben oder unterschiedlicher Objekte, beispielsweise einer Führungsbohrung und eines Ventilsitzes, erfasst und abgebildet. Die Aufteilung des Referenzlichtweges in Teil-Referenzlichtwege mit optischen Längen, die an die verschiedenen zu messenden Flächen angepasst sind, ermöglichen eine gleichzeitige oder in kurzem Abstand aufeinander folgende und damit schnelle Abtastung z. B. der Interferenzmaxima der verschiedenen Flächen. Die interferierende Strahlung der verschiedenen Flächen wird gleichzeitig oder nacheinander von dem Bildwandler aufgenommen und an die Auswerteeinrichtung zur Herleitung der Messergebnisse, z. B. Lage der verschiedenen Flächen relativ zueinander, die Höhe und Parallelität und/oder Beschaffenheit der verschiedenen Flächen an sich weitergeleitet. Die Handhabung und Ausbildung der Messvorrichtung ist dabei einfach.

[0009] Günstige Aufbaumöglichkeiten bestehen darin, dass in dem Objektlichtweg eine Superpositionsoptik angeordnet ist, mit der von der Fläche und der mindestens einen weiteren Fläche ein Bild erzeugbar ist, und darin, dass auch die weitere Fläche direkt oder über mindestens eine Zwischenabbildung im Objektlichtweg auf dem Bildwandler abgebildet wird.

[0010] Zwei vorteilhafte, alternative Ausgestaltungen des Referenzlichtweges bestehen darin, dass die Referenzebene und die mindestens eine weitere Referenzebene nebeneinander oder hintereinander in dem Referenzlichtweg angeordnet sind, wobei im Falle der Hintereinanderordnung die mindestens eine vorgelagerte Referenzebene teildurchlässig ist. Im Falle der Nebeneinanderanordnung können in den unterschiedlichen Teil-Referenzarmen unterschiedliche optische Elemente enthalten sein.

[0011] Verschiedene Messmöglichkeiten ergeben sich dadurch, dass die Fläche und die mindestens eine weitere Fläche zu gleichzeitig oder nacheinander positionierten Objekten gehören, wobei die Fläche und die mindestens eine weitere Fläche unterschiedlich weit entfernt sind.

[0012] Verschiedene günstige Ausgestaltungen bestehen weiterhin darin, dass der Objektlichtweg zum Erzeugen eines gemeinsamen Zwischenbildes des Zwischenbildes der Fläche und des Zwischenbildes der weiteren Fläche(n) in einer gemeinsamen Zwischenbildebene im Objektlichtweg ausgebildet ist und dass das gemeinsame Zwischenbild direkt oder über mindestens eine Zwischenabbildung auf dem Bildwandler abgebildet wird. Mit mindestens einer Zwi-

schenabbildung im Objektlichtweg ist zum einen eine Zwischenbildabtastung und zum anderen eine erhöhte laterale Auflösung möglich.

[0013] Weitere vorteilhafte Ausführungen ergeben sich dadurch, dass der Referenzlichtweg in einem gesonderten Referenzarm oder in einem zu dem Objektlichtweg gehörenden Messarm ausgebildet ist.

[0014] Vielfältige Möglichkeiten, auf einfache Weise verschiedene Oberflächen auch an schwer zugänglichen Stellen zu vermessen, ergeben sich dadurch, dass im Objektlichtweg eine bezüglich des Objektes starre Optik angeordnet ist und dass der starren Optik eine in Richtung ihrer optischen Achse bewegliche Optik folgt.

[0015] Insbesondere für enge Hohlräume und eine Messung mit relativ großer lateraler Auflösung ist eine Ausbildung günstig, bei der der Objektlichtweg als Endoskop ausgebildet ist.

[0016] Der Aufwand, die Messvorrichtung an verschiedene Messaufgaben anzupassen, wird dadurch begünstigt, dass die starre Optik Teil der das Zwischenbild erzeugenden Optik ist.

[0017] Zum Erreichen einer gegen laterale Relativbewegung des Objektes robusten Messung ist vorteilhaft vorgesehen, dass die starre Optik nach Unendlich abbildet.

[0018] Zur Genauigkeit der Messung tragen die Maßnahmen bei, dass ein Bild der Referenzebene bzw. der weiteren Referenzebene im Schärfentiefebereich der Superpositionsoptik liegt. Hierbei ist es günstig, dass das Bild der Referenzebene bzw. der weiteren Referenzebene in der Bildebene der Superpositionsoptik liegt, und weiterhin, dass sich das Bild der Referenzebene bzw. der weiteren Referenzebene bei Bewegung der beweglichen Optik synchron mit der Bildebene der Superpositionsoptik bewegt.

[0019] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht desweiteren darin, dass die starre Optik als die das Zwischenbild erzeugende Optik, z. B. als Superpositionsoptik ausgebildet ist, mit der mindestens ein zum Objekt starres Zwischenbild erzeugt wird, und dass als bewegliche Optik eine im Strahlengang hinter dem starren Zwischenbild folgende Objektiv-Optik in Richtung ihrer optischen Achse beweglich zur Abtastung des normal zu dieser Achse ausgerichteten Zwischenbilds in Tiefenrichtung und Abbilden desselben direkt oder über eine oder mehrere Zwischenabbildungen auf dem Bildwandler ausgebildet ist. Durch die Erzeugung des z. B. im Objektlichtweg liegenden starren Zwischenbilds der Objektoberfläche und der Superpositionsoptik in dem Objektlichtweg wird auch in engen Kanälen oder Bohrungen die zu messende Objektoberfläche mit relativ großer lateraler Auflösung erfassbar und mit dem Bildwandler oder der nachgeschalteten Auswerteinrichtung hinsichtlich der Tiefenstruktur auswertbar. Die Abtastung des starren Zwischenbildes ist mit relativ einfachen Maßnahmen möglich, da zu seiner Tiefenabtastung nur wenige optische Komponenten des Objektlichtweges bewegt werden müssen, wobei die jeweils abgetastete Tiefe des starren Zwischenbildes stets im Schärfentiefebereich der beweglichen Objektivoptik bleibt, da durch die Tiefenabtastung (Tiefenscan) die Objektebene der bewegten Objektivoptik gleichsam durch das starre Zwischenbild hindurch bewegt wird und auf diese Weise z. B. die Interferenzmaxima im Bereich größter Schärfe ausgewertet werden. Darüber hinaus ist das starre Zwischenbild stets normal zur Bewegungsrichtung der Objektivoptik gerichtet bzw. ausrichtbar.

[0020] Bezüglich näherer Einzelheiten zur Ausbildung der starren Optik und der beweglichen Optik wird auf die deutsche Patentanmeldung 101 15 524.7-52 derselben Anmelderin verwiesen.

[0021] Für eine kurze Messzeit und eine genaue Messung

sind die Maßnahmen vorteilhaft, dass die relative Änderung der optischen Länge des Objektlichtweges und der unterschiedlichen optischen Längen der Referenzlichtwege synchron zueinander erfolgt. Dabei kann die Messung der verschiedenen Flächen gleichzeitig zueinander oder zeitlich voneinander beabstandet erfolgen.

[0022] Verschiedene günstige Ausbildungsmöglichkeiten bestehen weiterhin darin, dass die Superpositionsoptik als Freie-Segmente-Optik mit verschiedenen Abbildungselementen für die Fläche und die mindestens eine weitere Fläche oder als Multifokaloptik oder als Optik mit einer Schärfentiefe von mindestens dem größten optischen Wegunterschied der mindestens zwei Flächen ausgebildet ist. Die Freie-Segmente-Optik mit z. B. mehreren Lichtablenkflächen und Linsenelementen eignet sich dabei insbesondere zur Aufnahme von schräg zueinander orientierten Flächen, die zudem unterschiedlich lange Objektlichtwege ergeben können, z. B. zur Messung von Dicke, Durchmesser oder Ausrichtung von Bezugsflächen. Eine Multifokaloptik ist z. B. geeignet, wenn parallel zueinander und senkrecht zu einem Hauptstrahlengang des Objektlichtweges orientierte Flächen betrachtet werden, z. B. Messung von Parallelität, Dicke und Höhe, während eine Optik mit einer Schärfentiefe von mindestens dem größten optischen Wegunterschied der mindestens zwei Flächen eine gleichzeitige Erfassung entsprechend weit voneinander beabstandeter, parallel zueinander orientierter Flächen zulässt, z. B. Messung von Parallelität, Dicke und Höhe.

[0023] Zum Erzielen genauer Messergebnisse sind weiterhin die Maßnahmen vorteilhaft, dass zur Beleuchtung des Objektes mit einer ebenen Welle ein Lichtwellenleiter vorgesehen ist, deren objektseitiger Ausgang in eine telezentrische Abbildungsanordnung des Objektlichtweges gelegt ist, oder dass ein Beleuchtungslichtweg mit zusätzlichen Linsen und Ablenkelementen gebildet ist.

[0024] Die Messung wird dadurch ermöglicht oder weiterhin begünstigt, dass der Referenzlichtweg dem Objektlichtweg ähnliche oder identische Optiken aufweist, durch welche die Erzeugung der Interferenzen ermöglicht wird oder der Interferenzkontrast optimiert wird oder optische Einflüsse der Komponenten im Objektlichtweg kompensiert werden.

Zeichnungen

[0025] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0026] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer interferometrischen Messvorrichtung nach dem Prinzip der Weisslichtinterferometrie (Kurzkoherenzinterferometrie) mit einem Zweiteil-Referenzlichtwege aufweisenden Referenzlichtweg und einer Freie-Segmente-Optik, wobei die Freie-Segmente-Optik in zwei um 90° zueinander gedrehten Lagen dargestellt ist,

[0027] Fig. 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel der interferometrischen Messvorrichtung, wobei zwei Teil-Referenzlichtwege mittels eines Spiegels und eines diesem vorgelagerten teildurchlässigen Spiegels gebildet sind und in dem Objektlichtweg eine Superpositionsoptik mit getrennten Linsenelementen gebildet ist,

[0028] Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine interferometrische Messvorrichtung, wobei in dem Objektlichtweg eine Bifokaloptik angeordnet ist,

[0029] Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer interferometrischen Messvorrichtung, bei dem die Strahlung in dem Referenzlichtweg und dem Objektlichtweg mit Lichtwellenleitern geführt wird und

[0030] Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel der interferometrischen Messvorrichtung, bei dem die Strahlung in dem Objektlichtweg über einen Beleuchtungslichtweg mit Linsen und Ablenkelementen geführt wird.

Ausführungsbeispiel

[0031] Wie Fig. 1 zeigt, weist eine auf dem Prinzip der Weisslichtinterferometrie (Kurzkohärenzinterferometrie) beruhende interferometrische Messvorrichtung einen Objektlichtweg OW, einen Referenzlichtweg RW und einen Bildwandler BW mit nachgeschalteter Auswerteeinrichtung auf, wie an sich bekannt und in den einleitend genannten Druckschriften sowie darin genannter Literatur näher beschrieben. Dabei wird ausgenutzt, dass Interferenz nur im Bereich der Kohärenzlänge auftritt, wodurch eine einfache Abstimmung der optischen Weglängen des Referenzlichtweges RW und des Objektlichtweges OW sowie die Erfassung des Interferenzmaximums ermöglicht wird. Eine von einer kurzkohärenten Lichtquelle KL abgegebene Strahlung hat dabei z. B. eine Kohärenzlänge in der Größenordnung von 10 μm . Die Strahlung der kurzkohärenten Lichtquelle KL wird mittels eines Strahlteilers ST in einen über den Referenzlichtweg RW geführten Referenzstrahl und einen über den Objektlichtweg OW geführten Objektstrahl aufgeteilt. In dem Lichtweg zu dem Bildwandler BW sind für die Abbildung vorliegend eine vierte und eine fünfte Linse L4, L5 angeordnet.

[0032] Eine Besonderheit der in Fig. 1 dargestellten interferometrischen Messvorrichtung besteht darin, dass in dem Referenzlichtweg RW zwei Teil-Referenzlichtwege mit unterschiedlichen optischen Weglängen ausgebildet sind, die durch bezüglich der optischen Achse voneinander beabstandete, seitlich voneinander versetzte reflektierende Flächen, nämlich einem ersten Spiegel SP1 und SP2 gebildet sind. Die Referenzlichtwege RW enthalten eine den jeweiligen Objektlichtweg OW entsprechende oder ähnliche Kompensationsoptik KO.

[0033] In dem Objektlichtweg OW ist als weitere Besonderheit eine Superpositionsoptik in Form einer Freie-Segmente-Optik FO angeordnet, die in den rechts daneben gezeigten Darstellungen im Querschnitt (obere Darstellung) in einer 0°-Ansicht (mittlere Darstellung) und in einer 90°-Ansicht (untere Darstellung) in einem in eine Ventilbohrung BO bis in die Nähe eines Ventilsitzes VS geführten Zustand wiedergegeben ist. Mit der Freien-Segmente-Optik FO können gleichzeitig mehrere voneinander getrennte Flächen A, B der Bohrung BO bzw. des Ventilsitzes VS erfasst und in einem gemeinsamen Zwischenbild ZW in einer Zwischenbildebene im Objektlichtweg abgebildet werden, die senkrecht zu einer optischen Hauptachse des Objektlichtweges OW liegt. Die Freie-Segmente-Optik FO besitzt mehrere Licht ablenkende Flächen und abbildende Linsenelemente und ist an die jeweilige Messanforderung angepasst. Insbesondere können unterschiedlich weit von dem gemeinsamen Zwischenbild ZW entfernte und auch schräg zueinander gerichtete Flächen A, B erfasst und in dem gemeinsamen Zwischenbild ZW abgebildet werden.

[0034] Die Teil-Referenzlichtwege mit dem ersten Spiegel SP1 und dem zweiten Spiegel SP2 sind den verschiedenen, den Flächen A, B entsprechenden optischen Weglängen angepasst. Die Erfassung der den beiden Flächen A, B entsprechenden Interferenzmaxima erfolgt durch Änderung des Referenzlichtweges RW entsprechend einer Abtastrichtung r, wobei die beiden Teil-Referenzlichtwege synchron geändert werden. Die bewegte Einheit ist strichliert dargestellt.

[0035] Bei dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel der interferometrischen Messvorrichtung sind zwei Teil-Re-

ferenzlichtwege des Referenzlichtweges RW mittels eines äußeren Spiegels SP und eines diesem vorgeschalteten teildurchlässigen Spiegels TS gebildet. Die in dem Objektlichtweg OW angeordnete Superpositionsoptik weist zwei parallel geschaltete Linsen, nämlich eine erste Linse L1 und eine zweite Linse L2 mit verschiedenen Brennweiten auf, denen prismenförmige Elemente vorgeschaltet sein können. Der Objektlichtweg ist außerdem zum Erzeugen einer telezentrischen Abbildung ausgelegt. Mit den beiden Linsen L1 und L2 werden unterschiedlich weit, z. B. einige μm bis über 1 cm voneinander entfernte, parallel zueinander und senkrecht zur optischen Hauptachse des Objektlichtweges OW liegende Flächen A, B in das gemeinsame Zwischenbild ZW aus dem Zwischenbild ZA der Fläche A und dem Zwischenbild ZB der Fläche B in einer Zwischenbildebene im Objektlichtweg abgebildet. Die Brennweiten der ersten und der zweiten Linse L1, L2 sind mit F_A , F_B angegeben. In dem Strahlengang des Objektlichtweges OW ist weiterhin eine dritte Linse L3 zur Abbildung angeordnet. Zum Erfassen des Interferenzmaximums wird die Einheit aus dem Spiegel SP und dem teildurchlässigen Spiegel TS in Abtastrichtung r bewegt, so dass die Änderung der beiden Teil-Referenzlichtwege synchron erfolgt.

[0036] In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel der interferometrischen Messvorrichtung gezeigt, bei dem gegenüber der Fig. 2 anstelle der beiden Linsen L1, L2 eine Bifokalloptik LB angeordnet ist, deren Eigenschaft in etwa den beiden Linsen L1, L2 entspricht.

[0037] Bei dem in Fig. 4 angegebenen Ausführungsbeispiel sind in den Strahlengang des Objektlichtweges der Bifokalloptik LB objektseitig gelegene weitere Linsen L6, L7 eingebracht. In dem Objektlichtweg OW liegt außerdem ein Lichtwellenleiter LL, über den die kurzkohärente Strahlung von der Strahlungsquelle KL geführt wird, um die Flächen A, B über die weitere Linse L7 mit einer ebenen Wellenfront zu beleuchten. Im Wesentlichen entsprechende Linsen sind auch in den Referenzlichtweg RW zur Kompensation angeordnet, und auch in dem Objektlichtweg wird die Strahlung über einen Lichtwellenleiter zugeführt.

[0038] In Fig. 5 ist gegenüber der Fig. 4 in dem Objektlichtweg OW der Lichtwellenleiter LL durch einen Beleuchtungslichtweg LW mit diskreten zusätzlichen Linsen LZ1, LZ2 und Ablenkelementen AE1, AE2 ersetzt, um die Flächen A, B mit einer ebenen Welle zu beleuchten. Die weiteren Linsen L6, L7 sind dabei nicht vorgesehen.

[0039] Mit den vorstehend angegebenen interferometrischen Messvorrichtungen werden unter Verwendung von Sonderoptiken in Form der genannten Superpositionsoptiken gleichzeitig die räumlich voneinander getrennten Flächen A, B vermessen. Dabei können Abstand bzw. Dicke und Durchmesser und Parallelität der räumlich getrennten Flächen A, B gemessen werden. Die räumlich getrennten Flächen können direkt oder über ein gemeinsames Zwischenbild ZW im Objektlichtweg auf den Bildwandler BW abgebildet werden.

[0040] Das gemeinsame Zwischenbild ZW kann direkt oder über eine oder mehrere Zwischenabbildungen auf dem Bildwandler BW z. B. einer CCD-Kamera abgebildet werden.

[0041] Mit den Teil-Referenzlichtwegen und die damit erzielten verschiedenen optischen Weglängen können die verschiedenen Flächen A, B schnell und stabil gemessen werden. Die optischen Weglängen können je nach Messaufgabe eingestellt und z. B. mit den optischen Weglängen der räumlich getrennten Flächen A, B des Objektlichtweges OW nahezu abgeglichen sein.

[0042] Der Aufbau der interferometrischen Messvorrichtung ist z. B. als Michelson-Interferometer realisiert. Die

kurzkohärente Strahlungsquelle KL ist z. B. eine Superluminiszenzdiode oder eine Leuchtdiode. Mit der Beleuchtung durch die Superpositionsoptik werden die räumlich getrennten Flächen A, B des Objektes beleuchtet, wobei es günstig ist, die getrennten Flächen A, B mit nahezu ebenen Wellen zu beleuchten.

[0043] Die Superpositionsoptik in Form der Freie-Segmente-Optik FO kann z. B. aus verschiedenen einzelnen Linsensystemen bestehen, die unterschiedliche Flächen entlang unterschiedlicher optischer Achsen und mit unterschiedlichen optischen Weglängen in die gemeinsame Zwischenbildebene abbilden. Die Freie-Segmente-Optik FO kann mit optischen Elementen, wie z. B. sphärischen Linsen, asphärischen Linsen, Stablinen oder Grin-Linsen oder mit diffraktiven optischen Elementen oder Prismen oder Spiegeln realisiert werden, die miteinander kombiniert sein können.

[0044] Anstelle der Ausbildung der Superpositionsoptik als Bifokaloptik LB kann auch eine Multifokaloptik verwendet werden, wenn mehr Flächen vermessen werden sollen. Die Multifokaloptik kann z. B. mit einer weiteren Linse zu einer telezentrischen Anordnung kombiniert werden.

[0045] Zum Abgleich der optischen Weglängen und der Dispersion in beiden Interferometerarmen, nämlich dem Referenzlichtweg RW und dem Objektlichtweg OW, sollten die Faserlängen und Geometrien der verwendeten Lichtwellenleiter möglichst identisch gewählt werden.

[0046] Die Superpositionsoptik kann näherungsweise auch durch eine Optik mit großer Schärfentiefe oder mit erweiterter Schärfentiefe, z. B. Axicon, realisiert werden. Im Falle einer Multifokaloptik bzw. Bifokaloptik als Superpositionsoptik kann zur Kompensation in dem Referenzlichtweg RW eine Optik mit nur einer Brennebene eingesetzt werden, wie aus Fig. 3 ersichtlich.

[0047] Auf dem Bildwandler BW wird ein mit der Referenzwelle überlagertes Bild der zu betrachtenden Flächen A, B erzeugt. Zur Datenauswertung erfolgt eine z. B. durch die Abtastbewegung r bewirkte Änderung des Gangunterschiedes zwischen den optischen Weglängen im Objekt- und Referenzlichtweg (Tiefenscan). Es können entsprechend dem Stand der Technik verschiedene Vorgehensweisen zur Änderung des Gangunterschiedes vorgesehen sein, z. B. Bewegung des Referenzspiegels, Bewegung des Objektes in Tiefenrichtung, Bewegung des Objektivs in Tiefenrichtung, Bewegung des gesamten Sensors relativ zu dem Objekt oder auch eine Zwischenbildabtastung gemäß der deutschen Patentanmeldung 100 15 878 oder eine Änderung der optischen Weglänge durch akustooptische Modulatoren.

[0048] Im Bild des Objektes tritt hoher Interferenzkontrast dann auf, wenn der Gangunterschied in beiden Interferometerarmen kleiner als die Kohärenzlänge ist. Zur Gewinnung des 3D-Höhenprofils haben sich verschiedene Verfahren etabliert. Sie beruhen darauf, dass während der Tiefenabtastung für jeden Bildpunkt (Pixel) der Gangunterschied detektiert wird, bei welchem der höchste Interferenzkontrast auftritt.

Patentansprüche

1. Interferometrische Messvorrichtung zur Formvermessung einer Fläche (A) eines Objektes (BO) mit einer kurzkohärenten Strahlung abgebenden Strahlungsquelle (KL), einem Strahlteiler (ST) zum Bilden eines über einen Objektlichtweg (OW) zu dem Objekt (BO) geleiteten Objektstrahls und eines über einen Referenzlichtweg (RW) zu einer reflektierenden Referenzebene (TS, SP1) geleiteten Referenzstrahls und mit einem Bildwandler (BW), der die von der Fläche (A)

und der Referenzebene (TS, SP1) zurück geworfene und zur Interferenz gebrachte Strahlung aufnimmt und einer Auswerteeinrichtung zum Bestimmen eines die Fläche (A) betreffenden Messergebnisses zuführt, wobei zum Messen die optische Länge des Objektlichtweges (OW) relativ zu der optischen Länge des Referenzlichtweges (RW) geändert wird oder eine Abtastung eines in dem Objektlichtweg (OW) erzeugten Zwischenbildes (ZA) der Fläche (A) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet,**

dass außer von der Fläche (A) von mindestens einer weiteren Fläche (B) ein Bild erzeugbar ist, dass in dem Referenzlichtweg (RW) entsprechend der Anzahl der weiteren Flächen (B) zum Erzeugen unterschiedlicher optischer Längen in dem Referenzlichtweg (RW) mindestens eine weitere Referenzebene (SP, SP2) angeordnet ist, die dem Tiefenscan dient/dienen, und

dass die von der mindestens einen weiteren Fläche (B) und der zugeordneten weiteren Referenzebene (SP, SP2) zurückgeworfene und ebenfalls zur Interferenz gebrachte und für die Messung abgetastete Strahlung ebenfalls dem Bildwandler (BW) zugeführt und in der Auswerteeinrichtung zum Bestimmen des Messergebnisses ausgewertet wird.

2. Messvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Objektlichtweg (OW) eine Superpositionsoptik (FO; L1, L2; LB) angeordnet ist, mit der von der Fläche (A) und der mindestens einen weiteren Fläche (B) ein Bild erzeugbar ist.

3. Messvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass auch die weitere Fläche (B) direkt oder über mindestens eine Zwischenabbildung im Objektlichtweg (OW) auf dem Bildwandler (BW) abgebildet wird.

4. Messvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzebene (SP1, TS) und die mindestens eine weitere Referenzebene (SP2, SP) nebeneinander oder hintereinander in dem Referenzlichtweg (RW) angeordnet sind, wobei im Falle der Hintereinanderordnung die mindestens eine vorgelagerte Referenzebene (TS) teildurchlässig ist.

5. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche (A) und die mindestens eine weitere Fläche (B) zu gleichzeitig oder nacheinander positionierten Objekten (BO) gehören, wobei die Fläche (A) und die mindestens eine weitere Fläche (B) unterschiedlich weit entfernt sind.

6. Messvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Objektlichtweg (OW) zum Erzeugen eines gemeinsamen Zwischenbildes (ZW) des Zwischenbildes (ZA) der Fläche (A) und des Zwischenbildes (ZB) der weiteren Fläche(n) (B) in einer gemeinsamen Zwischenbildebene im Objektlichtweg (OW) ausgebildet ist und dass das gemeinsame Zwischenbild (ZW) direkt oder über mindestens eine Zwischenabbildung im Objektlichtweg (OW) auf dem Bildwandler (BW) abgebildet wird.

7. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzlichtweg (RW) in einem gesonderten Referenzarm oder in einem zu dem Objektlichtweg (OW) gehörenden Messarm ausgebildet ist.

8. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Objektlichtweg (OW) eine bezüglich des Objektes (BO) starre Optik angeordnet ist und dass der starren Optik eine in

Richtung, ihrer optischen Achse bewegliche Optik folgt.

9. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Objektlichtweg (OW) als Endoskop ausgebildet ist.

10. Messvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die starre Optik ganz oder teilweise als Endoskop ausgebildet ist.

11. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die starre Optik Teil der das Zwischenbild (ZW) erzeugenden Optik ist.

12. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die starre Optik Teil der Superpositionsoptik ist.

13. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die starre Optik nach Unendlich abbildet.

14. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bild der Referenzebene (TS, SP1) und der weiteren Referenzebene (SP, SP2) im Schärfentiefebereich der Superpositionsoptik liegt.

15. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Bild der Referenzebene (TS, SP1) und der weiteren Referenzebene (SP, SP1) in der Bildebene der Superpositionsoptik liegt.

16. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Bild der Referenzebene (TS, SP1) und der weiteren Referenzebene (SP, SP2) bei Bewegung der beweglichen Optik synchron mit der Bildebene der Superpositionsoptik bewegt.

17. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die starre Optik als die das starre Zwischenbild erzeugende Optik ausgebildet ist, mit der mindestens ein zum Objekt (BO) starres Zwischenbild erzeugt wird, und

dass als bewegliche Optik eine im Strahlengang hinter dem starren Zwischenbild folgende Objektiv-Optik in Richtung ihrer optischen Achse beweglich zur Abtastung des normal zu dieser Achse ausgerichteten Zwischenbilds in Tiefenrichtung und Abbilden desselben direkt oder über eine oder mehrere Zwischenabbildungen auf dem Bildwandler (BW) ausgebildet ist.

18. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenabbildung einen für alle im Zwischenbild abgebildeten Objektpunkte den gleichen Abbildungsmaßstab besitzt.

19. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die starre Optik als 4f-Anordnung ausgebildet ist.

20. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Änderung der optischen Länge des Objektlichtweges (OW) und der unterschiedlichen optischen Längen der Referenzlichtwege (RW) synchron erfolgt.

21. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Superpositionsoptik als Freie-Segmente-Optik (Fo) mit verschiedenen Abbildungselementen für die Fläche (A) und die mindestens eine weitere Fläche (B) oder als Multifokaloptik (LB) oder als Optik mit einer Schärfentiefe von mindestens dem größten optischen Wegunterschied der mindestens zwei Flächen (A, B) ausgebildet ist.

22. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beleuchtung des Objektes mit einer ebenen Welle ein Lichtwellenleiter (LL) vorgesehen ist, deren objektseitiger Ausgang in eine telezentrische Abbildungsanordnung des Objektlichtweges (OW) gelegt ist, oder dass ein Beleuchtungslichtweg (LW) mit zusätzlichen Linsen (LZ1, LZ2) und Ablenkelementen (AE1, AE2) gebildet ist.

23. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzlichtweg (RW) dem Objektlichtweg (OW) ähnliche oder identische Optiken aufweist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

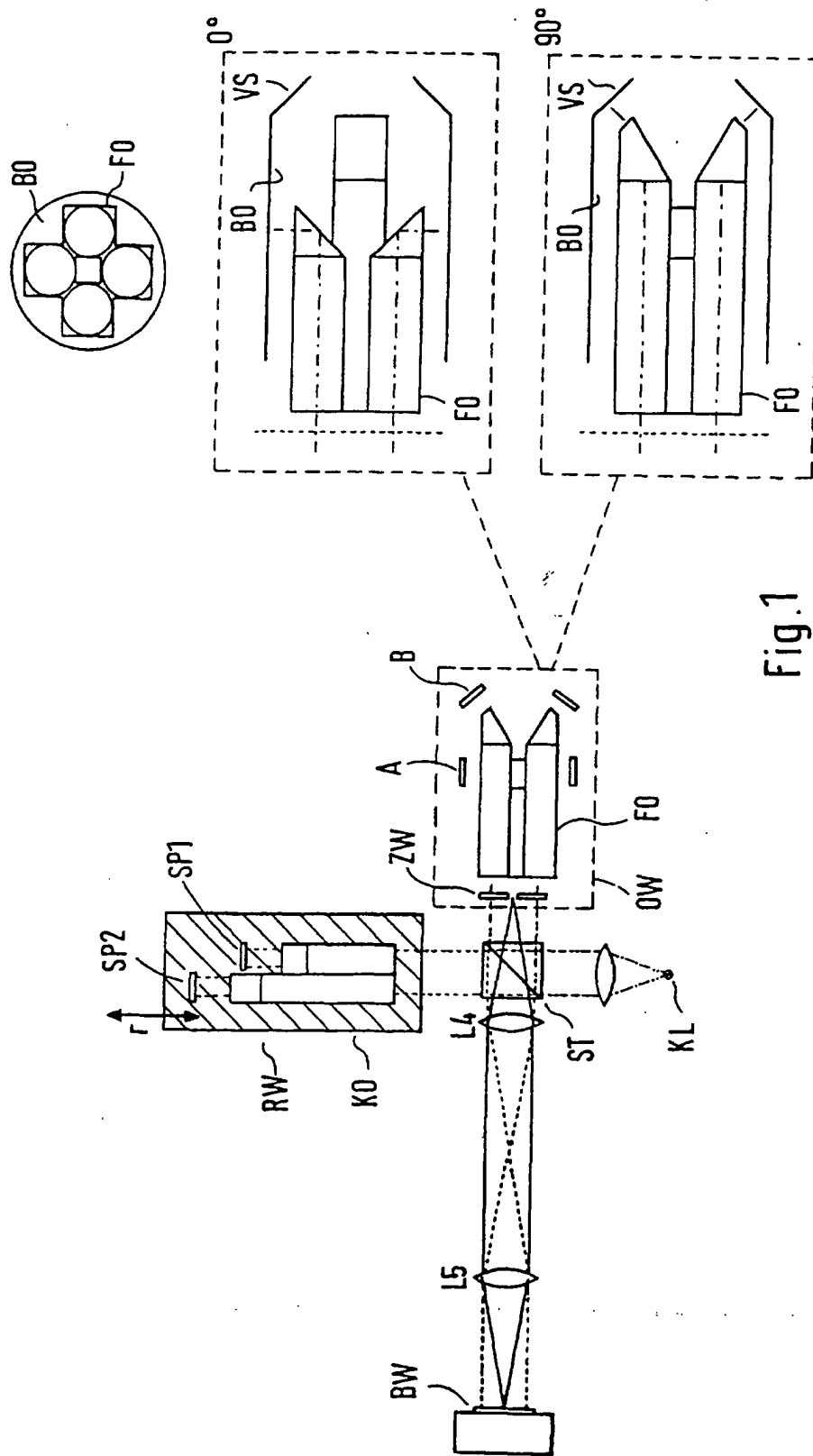


Fig. 1

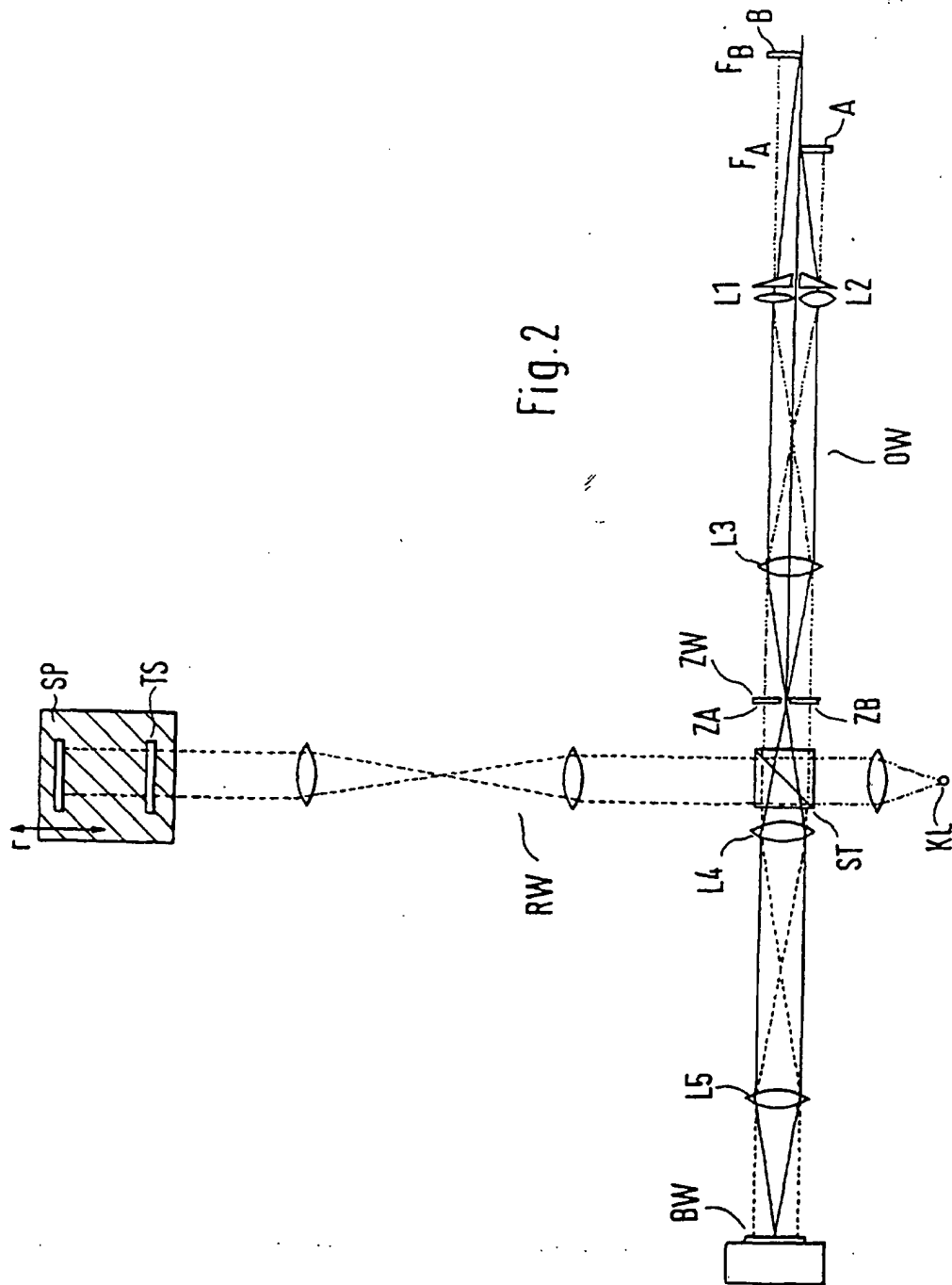


Fig. 3

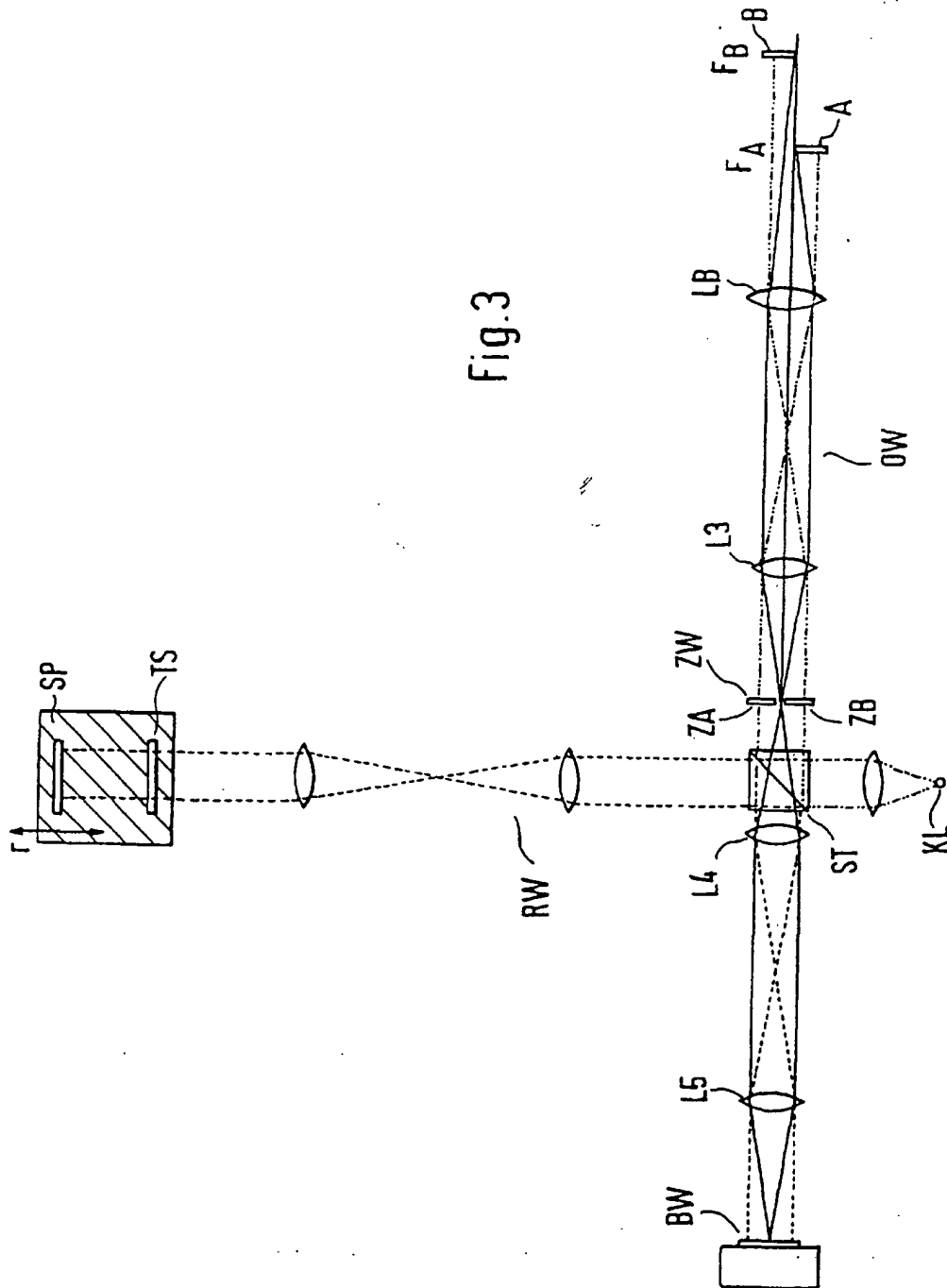
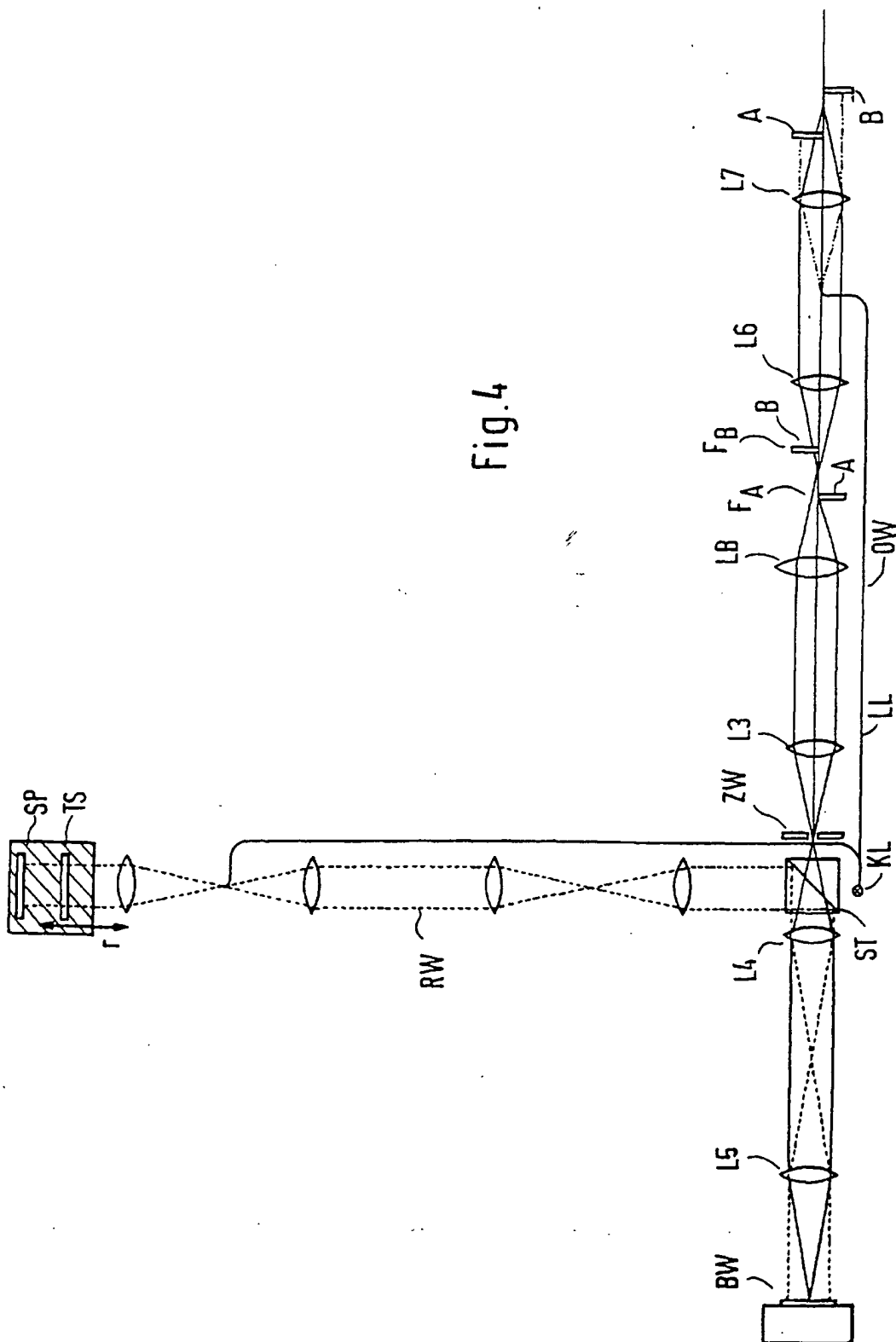


Fig. 4



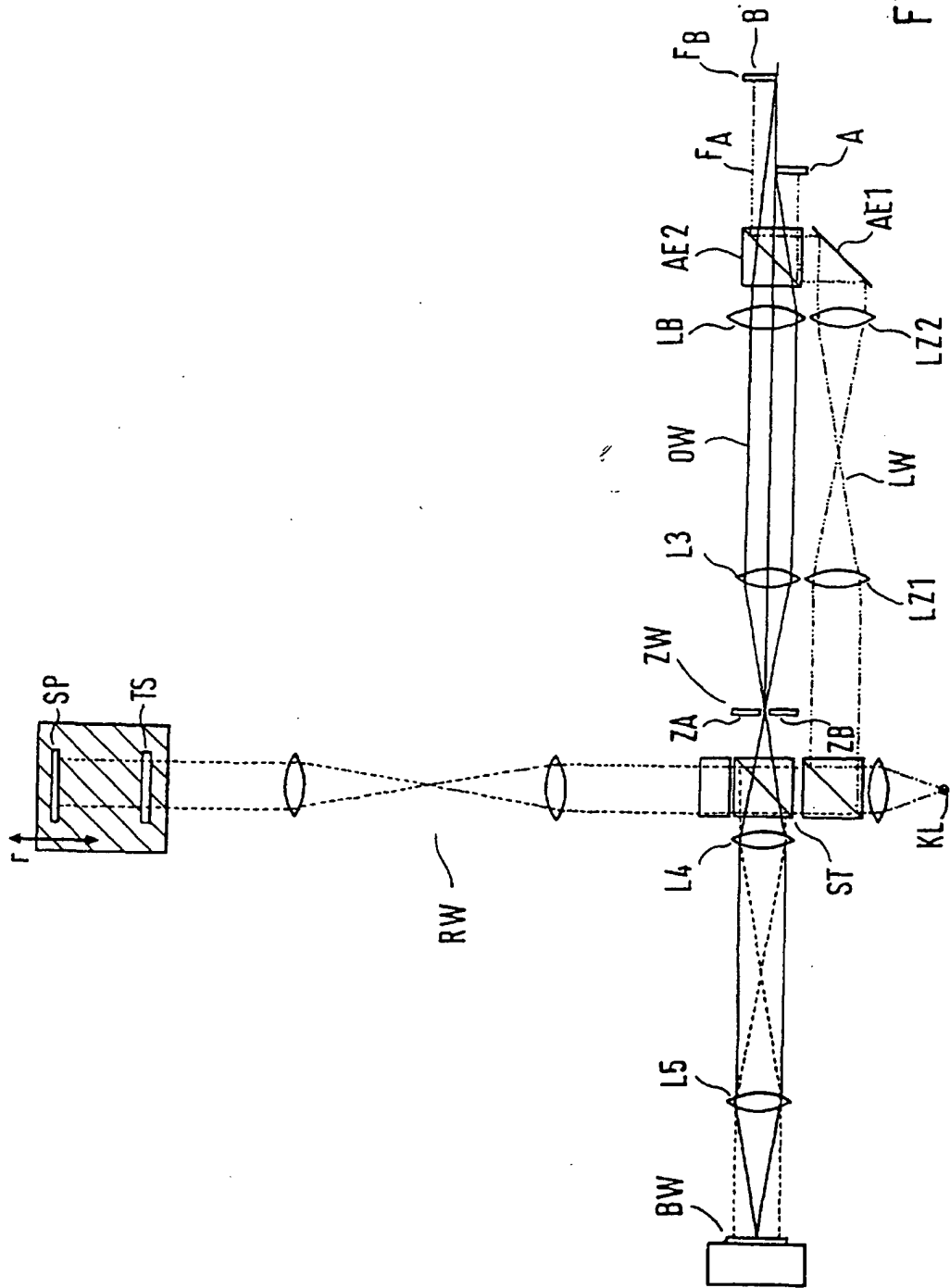


Fig. 5